

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-259561

(43)Date of publication of application : 08.10.1993

(51)Int.Cl.

H01S 3/13

(21)Application number : 04-050832

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 09.03.1992

(72)Inventor : TATSUKAWA YOSHINORI

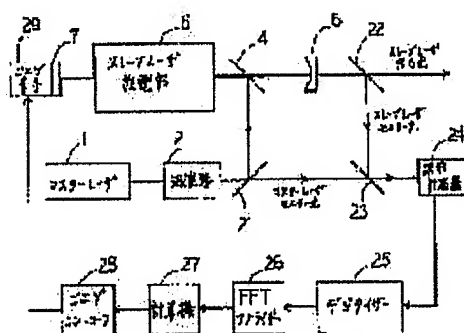
(54) INJECTION LOCK TUNING CONTROL EQUIPMENT

(57)Abstract:

PURPOSE: To obtain an injection lock tuning control equipment of high frequency stability wherein the oscillation frequency of a resonator is stabilized by applying the oscillation frequency of a master laser to the reference.

CONSTITUTION: A part of output pulse light from a laser resonator 5 and a part of light from a master laser 1 are led out as the respective monitor lights, and both of the monitor lights are superposed by using a beam splitter 23.

The superposed monitor light is measured with a waveform measuring equipment 23. Based on the output thereof, the beat frequency caused by the frequency difference between the output pulse monitor light and the master laser monitor light is detected with a digitizer 25 and an FFT analyzer 26. On the basis of said beat frequency, the tuning states of the output pulse light and the master laser light are judged, and the optical length of the laser resonator 5 is controlled by using feedback mechanism constituted of a computer 27 and a piezocontroller 28.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention relates to the alignment control unit of the laser cavity which used the injection locking method.

[0002]

[Description of the Prior Art] Generally, the simultaneous oscillation of the pulse excitation laser oscillation equipment is carried out with two or more resonance frequency decided by the optical resonator length of a laser cavity. Although some approaches are performed in order to oscillate this on a single frequency, the injection locking method is in one of them.

[0003] The laser cavity using this injection locking method combines the laser (slave laser is called hereafter) which serves as laser (master laser is called hereafter) which serves as parents, and a child, uses the gain of the powerful laser excitation field of delivery and a slave laser resonator for a slave laser resonator for the laser beam used as the weak kind from master laser, and obtains a powerful laser beam homogeneous as a master laser beam.

[0004] An example of the laser cavity of the injection lock method used for drawing 8 from the former was shown. That is, the light of the master laser 1 which carried out the single frequency oscillation beforehand is adjusted about required reinforcement by the attenuator 2, and is poured in into a slave laser resonator by the clinch mirror 3 and the injection mirror 4. A pulse laser oscillation is grown up by using light of this poured-in master laser as a seed, and a powerful laser beam is obtained.

[0005] As mentioned above, the laser cavity of an injection lock method can be oscillated on the frequency which becomes settled on the frequency of master laser. At this time, the oscillation frequency of master laser and the resonance frequency which becomes settled by the cavity length of a slave laser resonator need to be in agreement (alignment). For this reason, the injection lock alignment control unit which consists of the resonator major key knot device 10 in which the optical length of a laser cavity is adjusted according to the detector 8 which detects the alignment condition of a laser cavity, and the feedback mechanism 9 and feedback signal for controlling the optical length of a laser cavity based on the detected signal is formed, and it is constituted so that alignment can be controlled.

[0006] By the way, in the former, the following approaches were used as the detection approach of said alignment condition, and the feedback control approach.

(a) How to carry out feedback control so that the master laser beam reinforcement detected with a power meter may serve as max using the reinforcement of the master laser beam outputted from the output mirror of slave laser becoming max at the time of alignment.

(b) How to carry out feedback control so that the oscillation time delay of the slave laser detected with a wave instrumentation may serve as min using a time delay after performing pulse excitation until the oscillation of slave laser begins serving as min at the time of alignment.

(c) How to carry out feedback control so that the beat component between the longitudinal modes of the output pulse of the slave laser detected with a wave instrumentation (heterodyne measurement machine) may serve as min using oscillating with two or more resonance frequency (longitudinal mode) when slave laser separates from a single frequency oscillation condition.

[0007]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, there was a technical problem which is described below and which should be solved in the above injection lock alignment control units. That is, the method of detecting the reinforcement of the master laser beam of the above (a) has the fault that it is not necessarily in agreement with the alignment condition in an oscillation condition in order to judge an alignment condition at the time of un-oscillating. Moreover, since the field where an oscillation time delay serves as min has a frequency span, the approach of detecting the oscillation time delay of (b) has the fault that oscillation frequency stability is missing. Furthermore, since it is only maintaining the single frequency oscillation condition a longitudinal-mode beat's not appearing, the approach of detecting the beat between the longitudinal modes of (c) has the fault that frequency stability is missing too. Thus, a technical problem called improvement in oscillation frequency stability was also left behind to the approach in which the conventional technique is not.

[0008] This invention is proposed in order to cancel the fault of the above conventional techniques, and the object is in offering the injection lock alignment control unit which it not only maintains a single frequency oscillation condition, but stabilizes an oscillation frequency on the basis of the oscillation frequency of master laser.

[0009]

[Means for Solving the Problem] In order to attain the above-mentioned object, invention of claim 1 The optical system which piles up ejection and both monitor light as each monitor light for a part of output pulse light from a laser cavity, and a part of master laser beam, The beat frequency produced based on the output of the wave measuring instrument for measuring the wave of the monitor light made to pile up mutually and said wave measuring instrument according to the frequency difference of output pulse monitor light and master laser monitor light is detected. The feedback mechanism which sends out the signal which judges the alignment condition of output pulse light and a master laser beam based on this detected beat frequency, and controls the optical length of a laser cavity, It is characterized by having the cavity length controlling mechanism which adjusts the optical length of a laser cavity with this control signal.

[0010] Invention of claim 2 to invention of said claim 1 In addition, a means to measure an oscillation time delay after performing pulse excitation until the oscillation of output pulse light is started, The beat frequency produced based on the output of said wave measuring instrument

according to the frequency difference of output pulse monitor light and master laser monitor light is detected. While sending out the signal which judges the alignment condition of output pulse light and a master laser beam based on this detected beat frequency, and controls the optical length of a laser cavity. In the field below the limit of measurement of beat frequency, it is characterized by having the feedback mechanism which sends out a control signal with which said oscillation time delay serves as the minimal value, and the cavity length controlling mechanism which adjusts the optical length of a laser cavity with this control signal.

[0011] The optical system for master laser frequency measurement from which invention of claim 3 takes out a part of master laser beam as a master laser monitor light, The output of this optical system for master laser frequency measurement is fed back to master laser. In the injection lock alignment control unit equipped with the master laser frequency stabilization feedback mechanism which stabilizes the frequency of a master laser beam. The optical system led to the optical system for master laser frequency measurement by making a part of output pulse light from a laser cavity into monitor light, The output pulse monitor photodetector which takes out and detects output pulse monitor light from the optical system for master laser frequency measurement, Output pulse monitor optical frequency is detected based on the output of said output pulse monitor photodetector. The feedback mechanism which sends out the signal which judges the alignment condition of output pulse light and a master laser beam based on this detected frequency, and controls the optical length of a laser cavity, It is characterized by having the cavity length controlling mechanism which adjusts the optical length of a laser cavity with this control signal.

[0012]

[Function] By measuring the wave which piled up a part of output pulse light and a part of master laser beam according to invention of claim 1 which has the above configuration. By being able to detect as a frequency of the beat which produced the frequency difference of output pulse light and a master laser beam in the measurement wave, and carrying out feedback control so that this beat frequency may be kept constant. It can maintain at the condition of having stabilized the oscillation frequency of output pulse light on the basis of the oscillation frequency of master laser.

[0013] In invention of claim 2, it can maintain at the condition of having stabilized the oscillation frequency of output pulse light, by suppressing buildup of malfunction by control of only an oscillation time delay, and a jitter, and controlling by the bottom of a beat frequency limit of measurement further, so that an oscillation time delay becomes min by detecting a frequency difference with master laser from the beat frequency detected with the wave instrumentation.

[0014] In invention of claim 3, while the optical system for master laser frequency measurement performs frequency stabilization of master laser, it can maintain at the condition of having stabilized the oscillation frequency of output pulse light, by measuring the frequency of output pulse light using the optical system for master laser frequency measurement, and carrying out

feedback control so that it may maintain at the oscillation frequency of master laser, and a fixed frequency difference.

[0015]

[Example] It progresses and the example of this invention is explained with reference to the drawing below drawing 1 .

(1) The 1st example -- Drawing 1 and the 1st example of drawing 2 are examples corresponding to invention of claim 1. In the 1st example, the beam splitter 21 for master laser monitor light ejection is formed in the output side of the master laser 1 through an attenuator 2, it is reflected by this beam splitter 21 for monitor light ejection, and a part of master laser beam is poured in into the slave laser discharge section 5 through the injection mirror 4. Moreover, a part of other master laser beams are taken out from the beam splitter 21 for optical ejection by alignment optical system as a master laser monitor light. On the other hand, the beam splitter 22 for slave laser monitor light ejection is formed in the output side of the output mirror 6 of slave laser, a part of output pulse light from the slave laser discharge section 5 turns into slave laser output light, it is taken out by the laser oscillator exterior, and other parts are taken out from this beam splitter 22 for monitor light ejection by alignment control optical system as a monitor light of a slave laser output pulse.

[0016] In alignment control optical system, the beam splitter 23 for superposition of the monitor light from both the beam splitters 21 and 22 is formed in the latter part of said beam splitter 21 for master laser monitor light ejection, and the beam splitter 22 for slave laser monitor light ejection. The wave measuring instrument 24 is connected to the latter part of this beam splitter 23 for superposition. To the output side of this wave measuring instrument 24 So that the digitizer 25 for digital-signal-izing an output signal, the FFT (fast Fourier transform) analyzer 26 for frequency analyses, and the obtained beat frequency may become fixed Cavity length The piezo-electric element 29 for changing cavity length according to the output signal of the piezo controller 28 which controls a piezo-electric element 29 according to the signal from a computer 27 and a computer 27 which calculates and outputs the signal for making it change, and said piezo controller 28 is formed one by one.

[0017] In the 1st example which has such a configuration, the laser beam of single frequency as shown in drawing 2 (a) is oscillated from the master laser 1. It is reflected by the beam splitter 21 for master laser monitor light ejection, and a part of this master laser beam is poured into the discharge section 5 of a slave laser resonator through the injection mirror 4. When the frequency of this master laser beam and the resonance frequency of a slave laser resonator are near, slave laser carries out a single frequency oscillation with the resonance frequency nearest to a master laser frequency. That is, as shown in drawing 2 (b), the slave laser beam which has frequency difference Δf to a master laser beam is oscillated.

[0018] This slave laser beam is taken out from the output mirror 6 by the slave laser resonator exterior, and a part of that light is taken out from the beam splitter 22 for ejection as a slave

laser monitor light, and it is further sent to the beam splitter 23 for superposition. On the other hand, a part of master laser beam is taken out from the beam splitter 21 for master laser monitor light ejection as a master laser monitor light, and it is further sent to the beam splitter 23 for superposition. If the wave of the monitor light of the master laser piled up by this beam splitter 23 for superposition and slave laser is measured with the wave measuring instrument 24, a detection wave as shown in drawing 2 (c) will be acquired.

[0019] thus -- if the acquired detection wave signal is digital-signal-ized with a digitizer 25 and carries out a frequency analysis with the FFT analyzer 26 further -- the frequency of a master laser beam and a slave laser beam -- the beat frequency component of difference is detected like drawing 2 (d). Then, delivery and a piezo-electric element 29 are used for the piezo controller 28 for a signal which keeps constant the beat frequency obtained by doing in this way from a calculating machine 27, and slave laser cavity length is changed. Whenever it does in this way, the oscillation frequency of a slave laser beam can be maintained at the fixed oscillation frequency on the basis of the oscillation frequency of master laser. When cavity length is controlled so that beat frequency is especially set to 0Hz, the oscillation frequency of slave laser can maintain the alignment condition which was always in agreement with the oscillation frequency of master laser.

[0020] In addition, drawing 3 is the modification of said 1st example, and it is constituted so that the monitor light of master laser and the monitor light of slave laser may be taken out from the part of the injection mirror 4. According to this modification, the monitor light of master laser is taken out as the transmitted light of the injection mirror 4, and after taking out the output pulse monitor light of slave laser as the reflected light of the injection mirror 4 and piling it up on the injection mirror 4, incidence of it is carried out to the wave measuring instrument 24. According to the same operation as said 1st example, the following can always maintain the oscillation frequency of a slave laser beam at the fixed oscillation frequency on the basis of the oscillation frequency of master laser.

[0021] (2) The 2nd example -- The 2nd example of drawing 4 is an example corresponding to invention of claim 2. By the way, in invention of claim 1 shown in said 1st example, since a limit-of-measurement frequency is decided by pulse width, after oscillation pulse width becomes short and beat frequency goes below into a limit of measurement, control becomes impossible, and frequency stability falls. Then, in invention of claim 2, still more precise control is performed in the field below the limit of measurement of said beat frequency using a time delay after performing pulse excitation until the oscillation of slave laser begins becoming min at the time of alignment.

[0022] As this 2nd example has the same alignment control optical system as said 1st example and shows it to drawing 4, the beam splitter 21 for master laser monitor light ejection is formed in the output side of the master laser 1 through an attenuator 2, it is reflected by this beam splitter 21 for monitor light ejection, and a part of master laser beam is poured in into the slave

laser discharge section 5 through the injection mirror 4. Moreover, a part of other master laser beams are taken out from the beam splitter 21 for optical ejection by alignment optical system as a master laser monitor light. On the other hand, the beam splitter 22 for slave laser monitor light ejection is formed in the output side of the output mirror 6 of slave laser, a part of output pulse light of slave laser turns into slave laser output light, it is taken out by the laser oscillator exterior, and other parts are taken out from this beam splitter 22 for monitor light ejection by alignment control optical system as a slave laser monitor light.

[0023] In alignment control optical system, as for the latter part of said beam splitter 21 for master laser monitor light ejection, and the beam splitter 22 for slave laser monitor light ejection, the beam splitter 23 for superposition of the monitor light from both the beam splitters 21 and 22 is formed. The wave measuring instrument 24 is connected to the latter part of this beam splitter 23 for superposition. While digital-signal-izing an output signal to the output side of this wave instrumentation 24, the measuring-oscillation time delay digitizer 25 is formed in it. Sequential connection of the FFT (fast Fourier transform) analyzer 26 for frequency analyses and the computer 27 is made at the output side of this digitizer 25. This calculating machine 27 calculates and outputs the signal for changing cavity length so that the oscillation time delay measured with the digitizer 25 may become min in the field below the limit of measurement of beat frequency so that the beat frequency obtained with the analyzer 26 may become fixed. The piezo-electric element 29 for changing cavity length according to the output signal of the piezo controller 28 which controls a piezo-electric element 29 according to the signal from a computer 27, and said piezo controller 28 is formed in the output side of this computer 27 one by one.

[0024] In the 2nd example which has such a configuration, if the wave of the monitor light of the master laser piled up by the beam splitter 23 for superposition and slave laser is measured with the wave measuring instrument 24 like said 1st example, a detection wave as shown in drawing 2 (c) will be acquired. if this detection wave signal is digital-signal-ized with a digitizer 25 and carries out a frequency analysis with an FFT analyzer further — the frequency of a master laser beam and a slave laser beam — the beat frequency component of difference is detected like drawing 2 (d). Simultaneously, in a digitizer 25, an oscillation time delay after performing pulse excitation until the oscillation of slave laser begins is measured, and a measurement result is sent to a computer 27. In a calculating machine 27, as shown in drawing 5, in the field where an oscillation frequency difference is larger than the beat frequency limit of measurement by heterodyne measurement, delivery and a piezo-electric element 29 are used for the piezo controller 28 for a signal which keeps constant the obtained beat frequency from a calculating machine 27, and slave laser cavity length is changed. On the other hand, a command is taken out with the field below the limit of detection of beat frequency from a computer 27 so that an oscillation time delay may serve as min, and cavity length is controlled by it.

[0025] Whenever it does in this way, the oscillation frequency of a slave laser beam can be kept good [precision] in the fixed oscillation frequency on the basis of the oscillation frequency of

master laser. Since it went into the large place of an oscillation time delay for every fixed period at the time of control and dispersion in an oscillation time delay (jitter) became large only by detection of an oscillation time delay especially with the conventional equipment which performs alignment control, there was a fault that this tends to cause malfunction. However, since according to this example cavity length is beforehand controlled so that beat frequency becomes small, and an oscillation time delay is measured below by the limit of measurement of the beat frequency, buildup of malfunction by control of only an oscillation time delay and a jitter is suppressed, and more precise control is attained. Since an oscillation time delay takes the minimal value in the location where an oscillation delta frequency becomes 0 as especially shown in drawing 5, an oscillation time delay is measured, and if the cavity length controlling mechanism 10 is controlled by the feedback mechanism 9 so that it takes the minimal value, it will become possible to take precise alignment with a master laser beam and slave laser oscillation light.

[0026] In addition, invention of this claim 2 is not limited to the example of a graphic display, and can adopt a thing like said drawing 2 etc. suitably as the optical system which takes out monitor light from each laser beam, or alignment control optical system.

[0027] (4) The 3rd example -- The 3rd example of drawing 6 is an example corresponding to invention of claim 3. By the way, in invention of said claim 1 and claim 2, the oscillation frequency of slave laser is stabilized on the basis of the oscillation frequency of master laser on the assumption that the oscillation frequency of master laser is stable. However, unless the oscillation frequency of master laser itself is stable, effectiveness also with sufficient invention of said claim 1 and claim 2 will be acquired. Then, the outstanding effectiveness is demonstrated, when invention of claim 3 stabilizes the oscillation frequency of master laser and the oscillation frequency of slave laser is stabilized on the basis of the oscillation frequency of master laser.

[0028] In this 3rd example, as shown in drawing 6, the beam splitter 31 for taking out a part of master laser beam as a master laser monitor light is formed in the output side of the master laser 1, and the monitor light of the master laser separated by this beam splitter 31 is introduced to the optical system 32 for frequency measurement. A detector 33 is connected to the optical system 32 for frequency measurement, and the frequency of master laser monitor light is measured in this detector 33. The frequency of the measured master laser monitor light is fed back to the master laser 1 by the frequency stabilization feedback mechanism 34, and the frequency of a master laser beam is stabilized based on this feedback information.

[0029] On the other hand, the beam splitter 41 which takes out a part of slave laser beam as a monitor light is formed in the output side of slave laser, and the monitor light from this beam splitter 41 is introduced into said optical system 32 for frequency measurement through the reflective mirror 42. The cavity length controlling mechanism 10 of slave laser is controlled by the feedback mechanism 9 so that the frequency of slave laser monitor light and the oscillation frequency of slave laser which the slave laser monitor photodetector 43 was connected, and the frequency of slave laser monitor light was detected in this detector 43, and were detected here

maintain a fixed frequency difference at the optical system 32 for frequency measurement.

[0030] Drawing 7 is what showed the example of said drawing 6 still more concretely, and the stabilization etalon 44 is used for it as optical system 32 for frequency measurement. In this example, a part of that oscillation light is introduced to the stabilization etalon 44 through the beam splitter 31 for master laser monitor light ejection, and a beam splitter 45 as a monitor light, this introduced monitor light is taken out by the detector 33 by the beam splitter 46, and, as for the master laser 1, that frequency is detected. Here, when the optical length of a stabilization etalon is set to L and the velocity of light is set to c , the frequency f_m of master laser is $f_m = n.c/2L$. (n ; forward integer)

Since it comes out and the transparency property of a stabilization etalon shows a sharp peak at a certain time, a master laser oscillation frequency is stabilized by the frequency stabilization feedback mechanism 34 so that the detection reinforcement of monitor light may serve as the maximum.

[0031] On the other hand, a part of output pulse of a slave laser beam is taken out as a monitor light by the beam splitter 41 for slave laser monitor light ejection. This slave laser monitor light is introduced into the stabilization etalon 44 through the reflective mirror 42 and a beam splitter 45, and is outputted to the slave laser monitor photodetector 43 through a beam splitter 46 after that. Said cavity length controlling mechanism 10 is controlled by the feedback mechanism 9 so that the monitor optical output reinforcement from this monitor photodetector 43 serves as max. Namely, oscillation frequency f_s of the property of a stabilization etalon to slave laser $f_s = f_m + m.c/2L$ (m ; forward integer)

It is alike and will stabilize. Thus, according to the example of drawing 7, it can maintain at the condition of having always stabilized the oscillation frequency of slave laser on the basis of the oscillation frequency of master laser.

[0032]

[Effect of the Invention] Since the oscillation frequency of slave laser is stabilized on the basis of the oscillation frequency of master laser also in invention [which / of claim 1 thru/or claim 3], it becomes possible to obtain an injection lock alignment control unit with high oscillation frequency stability, as stated above. Especially, in invention of claim 2, also in the field below the limit-of-measurement value of beat frequency, stabilization of an oscillation frequency is attained and frequency stabilization with a more high precision becomes possible. Moreover, in invention of claim 3, since the optical system for master laser oscillation frequency measurement can be used for the stabilization and coincidence of a slave laser oscillation frequency by stabilization of the oscillation frequency of master laser itself also as an object for slave laser oscillation frequency measurement as it is, the simplification of optical system is also attained.

[Translation done.]

(51) Int.Cl.⁵

H 0 1 S 3/13

識別記号

庁内整理番号

8934-4M

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数3(全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平4-50832

(22) 出願日 平成4年(1992)3月9日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 達川 美紀

神奈川県川崎市川崎区浮島町2番1号 株

式会社東芝浜川崎工場内

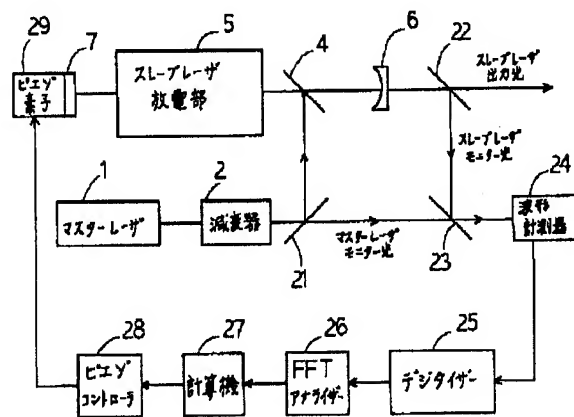
(74) 代理人 弁理士 木内 光春

(54) 【発明の名称】 インジェクションロック同調制御装置

(57) 【要約】

【目的】 共振器の発振周波数がマスターレーザの発振周波数を基準として安定化された周波数安定性の高いインジェクションロック同調制御装置を得る。

【構成】 レーザ共振器5からの出力パルス光の一部とマスターレーザ1からの光の一部を、それぞれのモニター光として取り出し、両モニター光をビームスプリッター23で重ね合わせる。重ね合わせたモニター光を波形計測器24で計測し、この波形計測器24の出力に基いて出力パルスモニター光とマスターレーザモニター光の周波数差によって生ずるビート周波数をデジタイザー25及びFFTアナライザ26で検出する。このビート周波数に基づいて出力パルス光とマスターレーザ光の同調状態を判断し、計算機27及びピエゾコントローラ28から成るフィードバック機構により、レーザ共振器5の光学的長さを制御する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザ共振器からの出力パルス光の一部とマスターレーザ光の一部を、それぞれのモニター光として取り出し、両モニター光を重ね合わせる光学系と、重ね合わせたモニター光の波形を計測するための波形計測器と、

前記波形計測器の出力に基いて出力パルスモニター光とマスターレーザモニター光の周波数差によって生ずるビート周波数を検出し、この検出されたビート周波数に基づいて出力パルス光とマスターレーザ光の同調状態を判断し、レーザ共振器の光学的長さを制御する信号を送出するフィードバック機構と、

この制御信号によりレーザ共振器の光学的長さを調節する共振器長制御機構を備えていることを特徴とするインジェクションロック同調制御装置。

【請求項2】 パルス励起を行ってから出力パルス光の発振が開始されるまでの発振遅延時間を計測する手段と、

前記波形計測器の出力に基いて出力パルスモニター光とマスターレーザモニター光の周波数差によって生ずるビート周波数を検出し、この検出されたビート周波数に基づいて出力パルス光とマスターレーザ光の同調状態を判断し、レーザ共振器の光学的長さを制御する信号を送出すると共に、ビート周波数の測定限界以下の領域においては、前記発振遅延時間が極小値となるような制御信号を送出するフィードバック機構と、

この制御信号によりレーザ共振器の光学的長さを調節する共振器長制御機構を備えていることを特徴とする請求項1のインジェクションロック同調制御装置。

【請求項3】 マスターレーザ光の一部をマスターレーザモニター光として取り出すマスターレーザ周波数測定用光学系と、

このマスターレーザ周波数測定用光学系の出力をマスターレーザにフィードバックして、マスターレーザ光の周波数を安定化するマスターレーザ周波数安定化フィードバック機構とを備えたインジェクションロック同調制御装置において、

レーザ共振器からの出力パルス光の一部をモニター光としてマスターレーザ周波数測定用光学系に導く光学系と、マスターレーザ周波数測定用光学系から出力パルスモニター光を取り出して検出する出力パルスモニター光検出器と、

前記出力パルスモニター光検出器の出力に基いて、出力パルスモニター光周波数を検出し、この検出された周波数に基づいて出力パルス光とマスターレーザ光の同調状態を判断し、レーザ共振器の光学的長さを制御する信号を送出するフィードバック機構と、

この制御信号によりレーザ共振器の光学的長さを調節する共振器長制御機構を備えていることを特徴とするインジェクションロック同調制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、インジェクションロック法を用いたレーザ共振器の同調制御装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 一般に、パルス励起レーザ発振装置は、レーザ共振器の光学的共振器長によって決まる複数の共振周波数で同時発振する。これを、単一の周波数で発振させるために、いくつかの方法が行われているが、その1つにインジェクションロック法がある。

【0003】 このインジェクションロック法を用いたレーザ共振器は、親となるレーザ（以下、マスターレーザと称す）と子となるレーザ（以下、スレーブレザと称す）とを組み合わせ、マスターレーザからの弱い種となるレーザ光をスレーブレザ共振器に送り、スレーブレザ共振器の強力なレーザ励起領域のゲインを用いて、マスターレーザ光と同質の強力なレーザ光を得るものである。

【0004】 図8に、従来から用いられているインジェクションロック方式のレーザ共振器の一例を示した。即ち、予め単一周波数発振させたマスターレーザ1の光は、減衰器2によって必要な強度に調整され、折り返しミラー3及びインジェクションミラー4によって、スレーブレザ共振器内に注入される。この注入されたマスターレーザの光を種として、パルスレーザ発振を成長させ、強力なレーザ光を得るようにしたものである。

【0005】 上記の様に、インジェクションロック方式のレーザ共振器は、マスターレーザの周波数で定まる周波数で発振させることができる。このとき、マスターレーザの発振周波数と、スレーブレザ共振器の共振器長によって定まる共振周波数が一致（同調）している必要がある。このため、レーザ共振器の同調状態を検出する検出器8と、検出された信号に基づいてレーザ共振器の光学的長さを制御するためのフィードバック機構9及びフィードバック信号に従ってレーザ共振器の光学的長さを調節する共振器長調節機構10から成るインジェクションロック同調制御装置が設けられ、同調を制御することができるよう構成されている。

【0006】 ところで、従来では、前記同調状態の検出方法及びフィードバック制御方法として、以下の様な方法が用いられていた。

(a) スレーブレザの出力ミラーから出力されるマスターレーザ光の強度が同調時に最大になることを利用して、パワーメータで検出されるマスターレーザ光強度が最大となるようフィードバック制御する方法。

(b) パルス励起を行ってからスレーブレザの発振が開始するまでの遅延時間が同調時に最小となることを利用して、波形計測器で検出されるスレーブレザの発振遅延時間が最小となるようフィードバック制御する方法。

3

(c) スレーブレザが単一周波数発振状態から外れた場合には複数の共振周波数(縦モード)で発振することを利用して、波形計測器(ヘテロダイン計測器)で検出されるスレーブレザの出力パルスの縦モード間ビート成分が最小となるようフィードバック制御する方法。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記の様なインジェクションロック同調制御装置には、以下に述べる様な解決すべき課題があった。即ち、前記(a)のマスターレーザ光の強度を検出する方法は、同調状態の判断を非発振時に行うため、発振状態での同調状態とは必ずしも一致しないという欠点がある。また、(b)の発振遅延時間を検出する方法は、発振遅延時間が最小となる領域が周波数幅を持っているため、発振周波数安定性に欠けるという欠点がある。更に、(c)の縦モード間ビートを検出する方法は、縦モードビートの現れない単一周波数発振状態を維持するのみであるため、やはり周波数安定性に欠けるという欠点がある。このように従来技術のいずれの方法にも、発振周波数安定性の向上という課題が残されていた。

【0008】本発明は、上記の様な従来技術の欠点を解消するために提案されたものであり、その目的は、単一周波数発振状態を維持するのみならず、発振周波数をマスターレーザの発振周波数を基準として安定化するインジェクションロック同調制御装置を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するため、請求項1の発明は、レーザ共振器からの出力パルス光の一部とマスターレーザ光の一部を、それぞれのモニター光として取り出し、両モニター光を重ね合わせる光学系と、重ね合わせたモニター光の波形を計測するための波形計測器と、前記波形計測器の出力に基いて出力パルスモニター光とマスターレーザモニター光の周波数差によって生ずるビート周波数を検出し、この検出されたビート周波数に基づいて出力パルス光とマスターレーザ光の同調状態を判断し、レーザ共振器の光学的長さを制御する信号を送出するフィードバック機構と、この制御信号によりレーザ共振器の光学的長さを調節する共振器長制御機構を備えていることを特徴とする。

【0010】請求項2の発明は、前記請求項1の発明に加えて、パルス励起を行ってから出力パルス光の発振が開始されるまでの発振遅延時間を計測する手段と、前記波形計測器の出力に基いて出力パルスモニター光とマスターレーザモニター光の周波数差によって生ずるビート周波数を検出し、この検出されたビート周波数に基づいて出力パルス光とマスターレーザ光の同調状態を判断し、レーザ共振器の光学的長さを制御する信号を送出すると共に、ビート周波数の測定限界以下の領域においては、前記発振遅延時間が極小値となるような制御信号を

4

送出するフィードバック機構と、この制御信号によりレーザ共振器の光学的長さを調節する共振器長制御機構を備えていることを特徴とする。

【0011】請求項3の発明は、マスターレーザ光の一部をマスターレーザモニター光として取り出すマスターレーザ周波数測定用光学系と、このマスターレーザ周波数測定用光学系の出力をマスターレーザにフィードバックして、マスターレーザ光の周波数を安定化するマスターレーザ周波数安定化フィードバック機構とを備えたインジェクションロック同調制御装置において、レーザ共振器からの出力パルス光の一部をモニター光としてマスターレーザ周波数測定用光学系に導く光学系と、マスターレーザ周波数測定用光学系から出力パルスモニター光を取り出して検出する出力パルスモニター光検出器と、前記出力パルスモニター光検出器の出力に基いて、出力パルスモニター光周波数を検出し、この検出された周波数に基づいて出力パルス光とマスターレーザ光の同調状態を判断し、レーザ共振器の光学的長さを制御する信号を送出するフィードバック機構と、この制御信号によりレーザ共振器の光学的長さを調節する共振器長制御機構を備えていることを特徴とする。

【0012】

【作用】以上の構成を有する請求項1の発明によれば、出力パルス光の一部とマスターレーザ光の一部を重ね合わせた波形を計測することによって、出力パルス光とマスターレーザ光の周波数差を計測波形に生じたビートの周波数として検出することができ、このビート周波数を一定に保つようフィードバック制御することにより、マスターレーザの発振周波数を基準として、出力パルス光の発振周波数を安定化した状態に保つことができる。

【0013】請求項2の発明では、波形計測器で検出されたビート周波数からマスターレーザとの周波数差を検知することによって、発振遅延時間のみの制御による誤動作とジッタの増大を抑え、更にビート周波数測定限界下では発振遅延時間が最小になるよう制御することによって、出力パルス光の発振周波数を安定化した状態に保つことができる。

【0014】請求項3の発明では、マスターレーザ周波数測定用光学系によりマスターレーザの周波数安定化を行うと共に、マスターレーザ周波数測定用光学系を用いて出力パルス光の周波数を測定し、マスターレーザの発振周波数と一定の周波数差に保つようにフィードバック制御することにより、出力パルス光の発振周波数を安定化した状態に保つことができる。

【0015】

【実施例】進んで、本発明の実施例を図1以下の図面を参照して説明する。

(1) 第1実施例…図1、図2

第1実施例は、請求項1の発明に対応する実施例である。第1実施例において、マスターレーザ1の出力側に

10

20

30

40

50

は、減衰器2を介してマスターレーザモニター光取り出し用ビームスプリッター21が設けられ、マスターレーザ光の一部は、このモニター光取り出し用ビームスプリッター21によって反射され、インジェクションミラー4を介してスレーブレザー放電部5内に注入される。また、マスターレーザ光の他の一部は、マスターレーザモニター光として、光取り出し用ビームスプリッター21から同調光学系に取り出される。一方、スレーブレザーの出力ミラー6の出力側には、スレーブレザーモニター光取り出し用ビームスプリッター22が設けられ、スレーブレザー放電部5からの出力パルス光の一部はスレーブレザー出力光となってレーザ発振器外部に取り出され、他の一部はスレーブレザー出力パルスのモニター光として、このモニター光取り出し用ビームスプリッター22から同調制御光学系に取出される。

【0016】同調制御光学系においては、前記マスターレーザモニター光取り出し用ビームスプリッター21とスレーブレザーモニター光取り出し用ビームスプリッター22の後段には、両ビームスプリッター21、22からのモニター光の重ね合わせ用ビームスプリッター23が設けられている。この重ね合わせ用ビームスプリッター23の後段には波形計測器24が接続され、この波形計測器24の出力側に、出力信号をデジタル信号化するためのデジタイザー25、周波数分析用のFFT（高速フーリエ変換）アナライザー26、得られたビート周波数が一定となるように共振器長を変化させるための信号を演算し出力する計算機27、計算機27からの信号に従ってピエゾ素子29を制御するピエゾコントローラー28、及び前記ピエゾコントローラー28の出力信号に従って共振器長を変化させるためのピエゾ素子29が順次設けられている。

【0017】このような構成を有する第1実施例において、マスターレーザ1からは図2(a)に示すような単一周波数のレーザ光が発振される。このマスターレーザ光の一部は、マスターレーザモニター光取り出し用ビームスプリッター21で反射され、インジェクションミラー4を介してスレーブレザー共振器の放電部5に注入される。このマスターレーザ光の周波数とスレーブレザー共振器の共振周波数が近い場合、スレーブレザーはマスターレーザ周波数に最も近い共振周波数で単一周波数発振する。すなわち、図2(b)に示すように、マスターレーザ光に対して周波数差 Δf を有するスレーブレザー光が発振される。

【0018】このスレーブレザー光は、出力ミラー6からスレーブレザー共振器外部に取り出され、その光の一部が、取り出し用ビームスプリッター22からスレーブレザーモニター光として取り出され、更に、重ね合わせ用ビームスプリッター23に送られる。一方、マスターレーザ光の一部は、マスターレーザモニター光取り出し用ビームスプリッター21からマスターレーザモニター

光として取り出され、更に、重ね合わせ用ビームスプリッター23に送られる。この重ね合わせ用ビームスプリッター23で重ね合わされたマスターレーザとスレーブレザーのモニター光の波形を波形計測器24で計測すると、図2(c)に示すような検出波形が得られる。

【0019】このようにして得られた検出波形信号を、デジタイザー25でデジタル信号化し、更にFFTアナライザー26で周波数分析すると、マスターレーザ光とスレーブレザー光の周波数差分のビート周波数成分が、図2(d)のように検出される。そこで、このようにして得られたビート周波数を一定に保つような信号を、計算機27からピエゾコントローラー28に送り、ピエゾ素子29を用いてスレーブレザー共振器長を変化させる。このようにすると、スレーブレザー光の発振周波数を、常にマスターレーザの発振周波数を基準とした一定の発振周波数に保つことができる。特に、ビート周波数が0Hzになるように共振器長を制御した場合には、スレーブレザーの発振周波数が常にマスターレーザの発振周波数と一致した同調状態を保つことができる。

【0020】なお、図3は、前記第1実施例の変形例であって、マスターレーザのモニター光とスレーブレザーのモニター光とをインジェクションミラー4の部分から取り出すように構成したものである。この変形例によれば、マスターレーザのモニター光はインジェクションミラー4の透過光として取り出され、スレーブレザーの出力パルスモニター光はインジェクションミラー4の反射光として取り出され、インジェクションミラー4上で重ね合わされた後、波形計測器24に入射する。以下は前記第1実施例と同様の作用により、スレーブレザー光の発振周波数を、常にマスターレーザの発振周波数を基準とした一定の発振周波数に保つことができる。

【0021】(2)第2実施例…図4

第2実施例は、請求項2の発明に対応する実施例である。ところで、前記第1実施例に示した請求項1の発明では、パルス幅によって測定限界周波数が決まるため、発振パルス幅が短くなりビート周波数が測定限界以下に入った後は制御が不可能になり、周波数安定度が低下する。そこで、請求項2の発明においては、前記ビート周波数の測定限界以下の領域では、パルス励起を行ってからスレーブレザーの発振が開始するまでの遅延時間が同調時に最小になることを利用して、更に精密な制御を行う。

【0022】この第2実施例は、前記第1実施例と同様な同調制御光学系を有するもので、図4に示すように、マスターレーザ1の出力側には、減衰器2を介してマスターレーザモニター光取り出し用ビームスプリッター21が設けられ、マスターレーザ光の一部は、このモニター光取り出し用ビームスプリッター21によって反射され、インジェクションミラー4を介してスレーブレザー放電部5内に注入される。また、マスターレーザ光の他

の一部は、マスターレーザモニター光として、光取り出し用ビームスプリッター21から同調光学系に取り出される。一方、スレーブレーザの出力ミラー6の出力側には、スレーブレーザモニター光取り出し用ビームスプリッター22が設けられ、スレーブレーザの出力パルス光の一部はスレーブレーザ出力光となってレーザ発振器外部に取り出され、他の一部はスレーブレーザモニター光として、このモニター光取り出し用ビームスプリッター22から同調制御光学系に取出される。

【0023】同調制御光学系においては、前記マスターレーザモニター光取り出し用ビームスプリッター21とスレーブレーザモニター光取り出し用ビームスプリッター22の後段は、両ビームスプリッター21、22からのモニター光の重ね合わせ用ビームスプリッター23が設けられている。この重ね合わせ用ビームスプリッター23の後段には波形計測器24が接続されている。この波形計測器24の出力側に、出力信号をデジタル信号化すると共に、発振遅延時間を測定するのデジタイザー25が設けられている。このデジタイザー25の出力側には、周波数分析用のFFT（高速フーリエ変換）アナライザー26、計算機27が順次接続されている。この計算機27は、アナライザー26で得られたビート周波数が一定となるように、またビート周波数の測定限界以下の領域ではデジタイザー25で測定された発振遅延時間が最小になるように共振器長を変化させるための信号を演算し出力するものである。この計算機27の出力側には、計算機27からの信号に従ってピエゾ素子29を制御するピエゾコントローラー28、及び前記ピエゾコントローラー28の出力信号に従って共振器長を変化させるためのピエゾ素子29が順次設けられている。

【0024】このような構成を有する第2実施例では、前記第1実施例と同様に、重ね合わせ用ビームスプリッター23で重ね合わされたマスターレーザとスレーブレーザのモニター光の波形を波形計測器24で計測すると、図2(c)に示すような検出波形が得られる。この検出波形信号を、デジタイザー25でデジタル信号化し、更にFFTアナライザーで周波数分析すると、マスターレーザ光とスレーブレーザ光の周波数差分のビート周波数成分が、図2(d)のように検出される。同時に、デジタイザー25では、パルス励起を行ってからスレーブレーザの発振が開始するまでの発振遅延時間が測定され、測定結果が計算機27に送られる。計算機27においては、図5に示すように、ヘテロダイン計測によるビート周波数測定限界よりも発振周波数差が大きい領域では、得られたビート周波数を一定に保つような信号を、計算機27からピエゾコントローラー28に送り、ピエゾ素子29を用いてスレーブレーザ共振器長を変化させる。一方、ビート周波数の検出限界以下の領域では、発振遅延時間が最小となるように計算機27から指令を出して、共振器長を制御する。

【0025】このようにすると、スレーブレーザ光の発振周波数を、常にマスターレーザの発振周波数を基準とした一定の発振周波数に、精度良く保つことができる。特に、発振遅延時間の検出のみによって同調制御を行う従来の装置では、制御時に一定周期ごとに発振遅延時間の大きいところに入り、発振遅延時間のばらつき（ジッタ）が大きくなるため、これが誤動作を招きやすいという欠点があった。しかし、本実施例によれば、ビート周波数が小さくなるように予め共振器長を制御しておき、そのビート周波数の測定限界以下で発振遅延時間を測定するので、発振遅延時間のみの制御による誤動作とジッタの増大を抑えて、より精密な制御が可能となる。特に、図5に示すように、発振周波数差が0となる位置で発振遅延時間は極小値をとるので、発振遅延時間を測定して、それが極小値をとるようにフィードバック機構9により共振器長制御機構10を制御すれば、マスターレーザ光とスレーブレーザ発振光との精密な同調をとることが可能になる。

【0026】なお、この請求項2の発明は、図示の実施例に限定されるものではなく、各レーザ光からモニター光を取り出す光学系や同調制御光学系として、前記図2のようなものなどを適宜採用することができる。

【0027】(4)第3実施例…図6

第3実施例は、請求項3の発明に対応する実施例である。ところで、前記請求項1及び請求項2の発明では、マスターレーザの発振周波数が安定化していることを前提として、マスターレーザの発振周波数を基準としてスレーブレーザの発振周波数を安定化している。しかし、マスターレーザの発振周波数自体が安定化していないと、前記請求項1及び請求項2の発明も十分な効果が得られないことになる。そこで、請求項3の発明は、マスターレーザの発振周波数を安定化することにより、スレーブレーザの発振周波数をマスターレーザの発振周波数を基準として安定化した場合に、優れた効果が発揮されるようにしたものである。

【0028】この第3実施例では、図6に示すように、マスターレーザ1の出力側に、マスターレーザ光の一部をマスターレーザモニター光として取り出すためのビームスプリッター31が設けられ、このビームスプリッター31で分離されたマスターレーザのモニター光が周波数測定用光学系32へ導入されている。周波数測定用光学系32には検出器33が接続され、この検出器33においてマスターレーザモニター光の周波数が測定される。測定されたマスターレーザモニター光の周波数は、周波数安定化フィードバック機構34によりマスターレーザ1にフィードバックされ、このフィードバック情報に基づいてマスターレーザ光の周波数が安定化される。

【0029】一方、スレーブレーザの出力側には、スレーブレーザ光の一部をモニター光として取り出すビームスプリッター41が設けられ、このビームスプリッター

41からのモニター光が反射ミラー42を介して前記周波数測定用光学系32に導入されている。周波数測定用光学系32には、スレーブレーザモニター光検出器43が接続され、この検出器43においてスレーブレーザモニター光の周波数が検出され、ここで検出されたスレーブレーザモニター光の周波数とスレーブレーザの発振周波数とが一定の周波数差を保つように、フィードバック機構9によってスレーブレーザの共振器長制御機構10が制御される。

【0030】図7は、前記図6の実施例を更に具体的に示したもので、周波数測定用光学系32として、安定化エタロン44を用いたものである。この実施例では、マスターレーザ1は、その発振光の一部が、モニター光としてマスターレーザモニター光取り出し用ビームスプリッター31及びビームスプリッター45を介して安定化エタロン44へ導入され、この導入されたモニター光がビームスプリッター46によって検出器33に取り出されて、その周波数が検出されている。ここで、安定化エタロンの光学長をL、光速をcとすると、マスターレーザの周波数 f_1 が、

$$f_1 = n \cdot c / 2L \quad (n; \text{正の整数})$$

であるとき、安定化エタロンの透過特性は鋭いピークを示すので、モニター光の検出強度が極大となるように周波数安定化フィードバック機構34によりマスターレーザ発振周波数が安定化される。

【0031】一方、スレーブレーザ光の出力パルスの一部は、スレーブレーザモニター光取り出し用ビームスプリッター41によってモニター光として取り出される。このスレーブレーザモニター光は、反射ミラー42及びビームスプリッター45を介して安定化エタロン44に導入され、その後ビームスプリッター46を介してスレーブレーザモニター光検出器43に出力される。このモニター光検出器43からのモニター光出力強度が最大となるように、フィードバック機構9によって前記共振器長制御機構10が制御される。すなわち、安定化エタロンの特性から、スレーブレーザの発振周波数 f_2 は、

$$f_2 = f_1 + m \cdot c / 2L \quad (m; \text{正の整数})$$

に安定化されることになる。このように、図7の実施例によれば、常にマスターレーザの発振周波数を基準として、スレーブレーザの発振周波数を安定化した状態に保つことができる。

【0032】

【発明の効果】以上述べた通り、請求項1乃至請求項3

のいずれの発明においても、スレーブレーザの発振周波数がマスターレーザの発振周波数を基準として安定化されるため、発振周波数安定性の高いインジェクションロック同調制御装置を得ることが可能になる。特に、請求項2の発明においては、ビート周波数の測定限界値以下の領域でも発振周波数の安定化が可能となり、より精度の高い周波数安定化が可能となる。また、請求項3の発明においては、マスターレーザの発振周波数そのものの安定化によるスレーブレーザ発振周波数の安定化と同時に、マスターレーザ発振周波数測定用光学系をそのままスレーブレーザ発振周波数測定用としても使用できるので、光学系の単純化も可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例を示すブロック図。

【図2】本発明の第1実施例における各部の出力波形を示す波形図。

【図3】図1の実施例の変形例を示すブロック図。

【図4】本発明の第2実施例を示すブロック図。

【図5】発振周波数または発振遅延時間と共振器長との関係を示すグラフ。

【図6】本発明の第3実施例を示すブロック図。

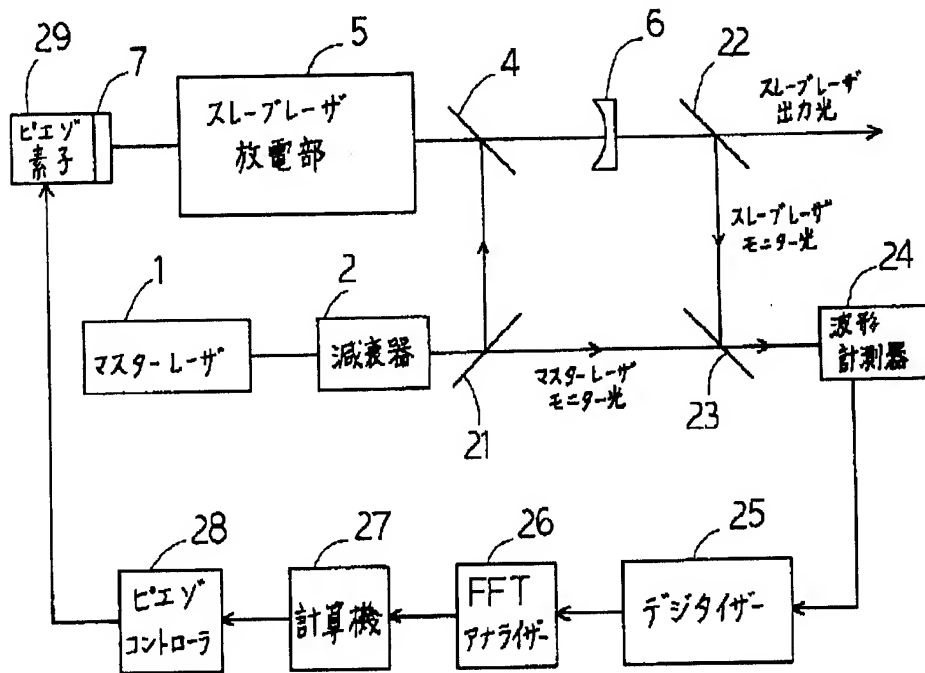
【図7】図6の実施例の具体例を示すブロック図。

【図8】従来のインジェクションロック同調制御装置の一例を示すブロック図。

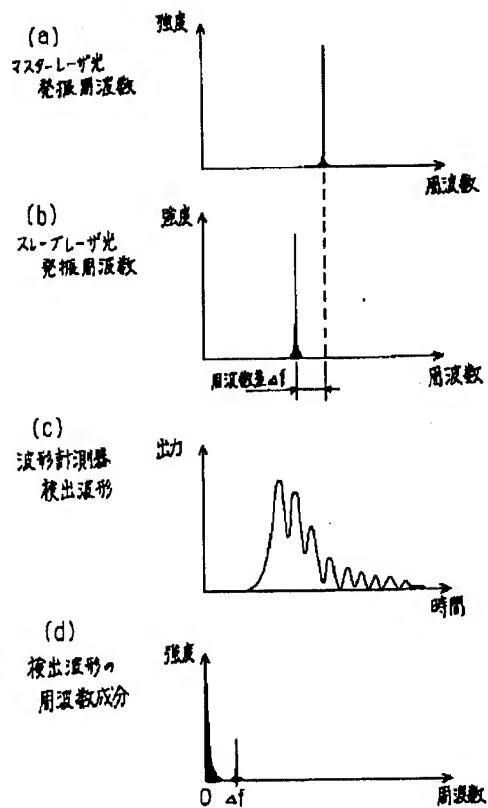
【符号の説明】

- 1…マスターレーザ
- 2…減衰器
- 4…インジェクションミラー
- 5…スレーブレーザ放電部
- 6…出力ミラー
- 7…リアミラー
- 21…マスターレーザモニター光取り出し用ビームスプリッター
- 22…マスターレーザモニター光取り出し用ビームスプリッター
- 23…モニター光重ね合わせ用ビームスプリッター
- 24…波形計測器
- 25…デジタイザー
- 26…FFTアナライザー
- 27…計算機
- 28…ピエゾコントローラー
- 29…ピエゾ素子

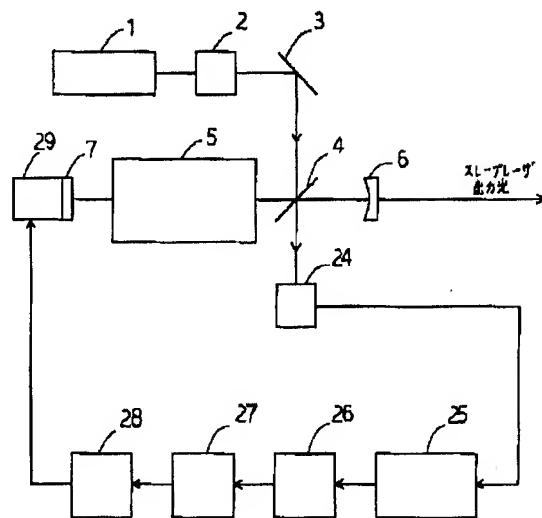
【図1】



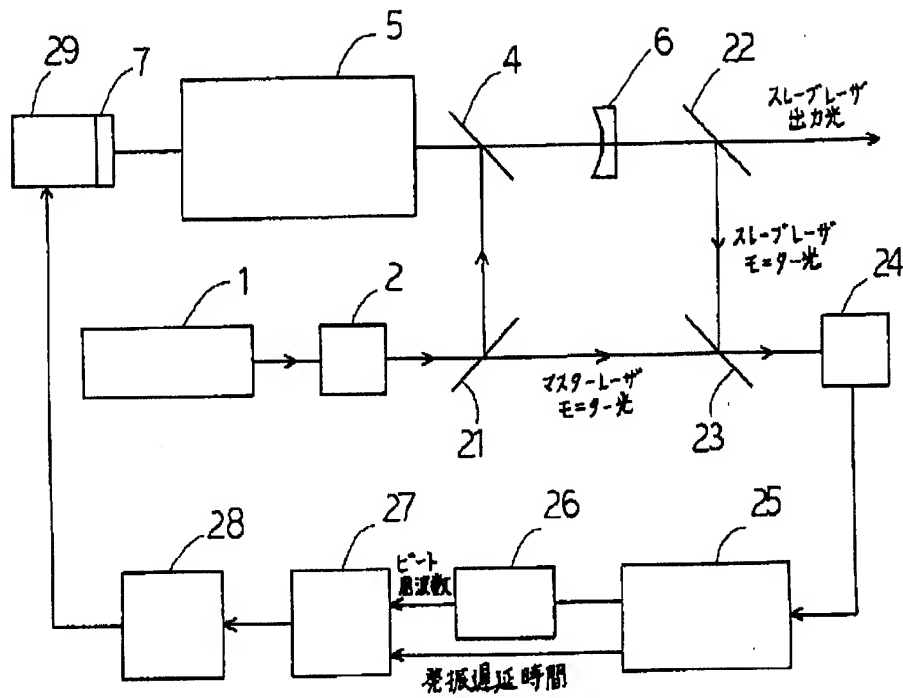
【図2】



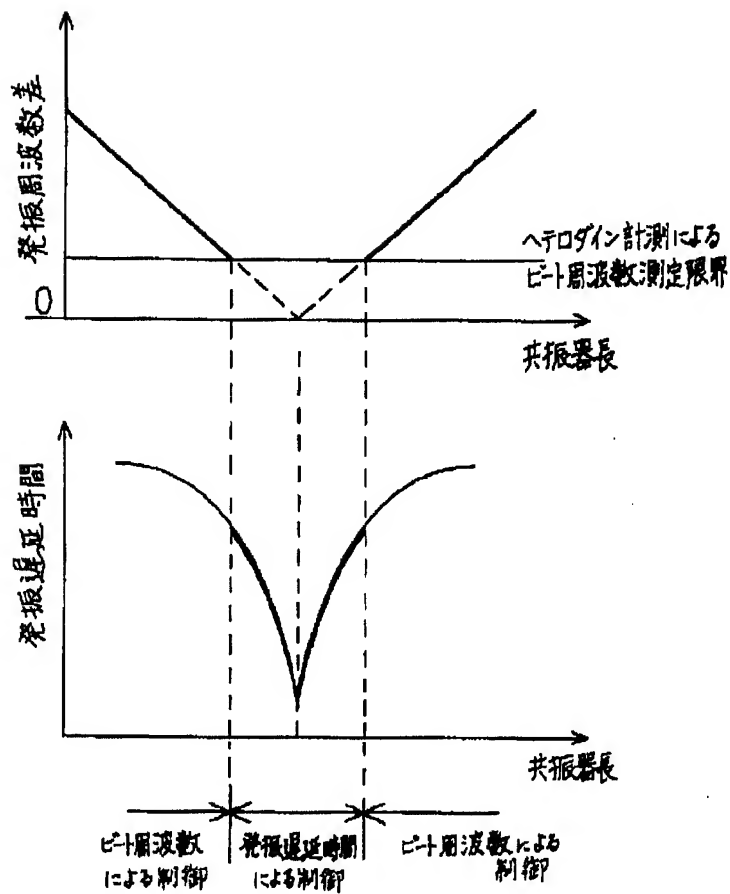
【図3】



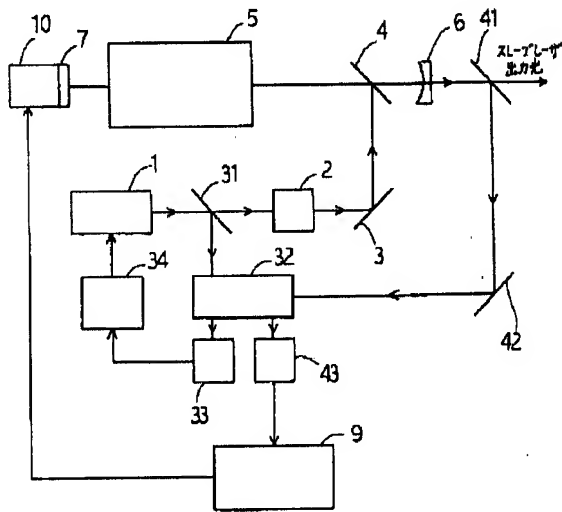
【図4】



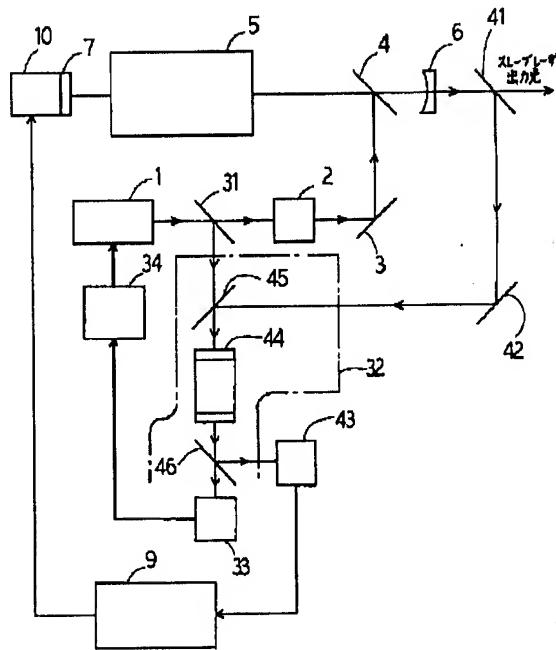
【図5】



【図6】



【図7】



【図8】

